

532,688

Rec'd PCT 26 APR 2005

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

10/532688

(43) 国際公開日  
2004 年 5 月 13 日 (13.05.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/040282 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G01N 22/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/013703
- (22) 国際出願日: 2003 年 10 月 27 日 (27.10.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2002-316770  
2002 年 10 月 30 日 (30.10.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニチレイ (NICHIREI CORPORATION) [JP/JP]; 〒104-8402 東京都中央区築地 6 丁目 1 番 20 号 Tokyo (JP). 学校法人東海大学 (TOKAI UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒151-0063 東京都渋谷区富ヶ谷 2 丁目 2 番 4 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 井上 敏文 (INOUE, Toshifumi) [JP/JP]; 〒273-0005 千葉県船橋市

本町 4-4-8-201 Chiba (JP). 八木原 晋 (YAGI-HARA, Shin) [JP/JP]; 〒254-0914 神奈川県平塚市高村 203-13-304 Kanagawa (JP). 新屋敷 直木 (SHINYASHIKI, Naoki) [JP/JP]; 〒258-0001 神奈川県足柄上郡松田町寄 1531 番地 4 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 村瀬 一美, 外 (MURASE, Kazumi et al.); 〒105-0003 東京都港区西新橋 2 丁目 1 2 番 7 号 西新橋立川ビル別館 Tokyo (JP).

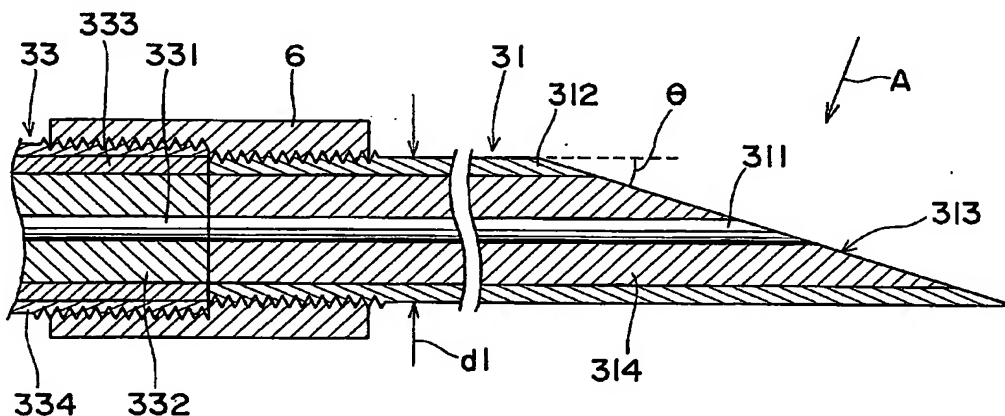
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許

[続葉有]

(54) Title: PROBE FOR PHYSICAL PROPERTIES MEASUREMENT

(54) 発明の名称: 物性測定用プローブ



(57) Abstract: A probe (31) has an internal electrode (311) and an external electrode (312) and is used in a physical properties measurement system wherein a complex dielectric constant of an object of measurement is measured and values of physical properties of the object, among which the moisture content is the typical, are determined according to the measured complex dielectric constant. In order to accurately measure the complex dielectric constant whether the surface of the object is rough or not and to have an appropriate electrical length, the probe is provided with an end face (313) which is inclined to the axis of the internal electrode (311).

(57) 要約: 本発明は、被測定物の複素誘電率を測定し、測定された複素誘電率に基づいて被測定物の含水量に代表される物性値を測定する物性測定装置に用いられ、内部電極 (311) と外部電極 (312) とを有するプローブ (31) に関し、被測定物表面の凹凸の有無にかかわらず正確に複素誘電率の測定を行うと共に適切な電気長に設定するために、内部電極 (311) の軸方向に対して斜めに端面 (313) を形成している。

WO 2004/040282 A1



(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),  
OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

## 物性測定用プローブ

## 技術分野

本発明は、物性測定用プローブに関する。さらに詳述すると、本発明は、被測定物の複素誘電率を測定し、測定された複素誘電率に基づいて被測定物の含水量に代表される物性値を測定する物性測定装置に用いられるプローブの改良に関する。

## 背景技術

従来、被測定物の複素誘電率を測定し、測定された複素誘電率に基づいて、被測定物の含水量に代表される物性値を測定する装置として、時間領域反射法（以下、TDR法と呼ぶ。）を利用した装置、例えば日本国特許第2740528号に開示された物性測定装置がある。

この物性測定装置101は、Fig. 8に示すように、被測定物100及び複素誘電率が既知の図示していない標準物質とにそれぞれ与える励起信号としてのステップパルスを発生する信号発生部2と、信号発生部2からの励起信号を被測定物100と標準物質とにそれぞれ入射し、被測定物100及び標準物質からのそれぞれの反射波を検出する検出部130と、検出部130を介して検出した被測定物100及び標準物質からのそれぞれの反射波を時間経過順に取り込み記録する記録部4と、記録部4に記録された標準物質からの反射波と被測定物100からの反射波とについて周波数成分に応じて差と和とを求め、予め記録された標準物質の周波数成分に応じた複素誘電率を用いて被測定物100の複素誘電率を求める信号処理部5とを備えている。標準物質には、被測定物100の複素誘電率に近い複素誘電率を持つものが選択され、単一の物質からなる液体、例えばアセトン、ベンゼン、クロロホルム、水などが通常用いられる。

検出部130は、被測定物100と接触するプローブ110と、信号発生部2および記録部4とのインタフェースとなるサンプリングヘッド32と、プローブ110をサンプリングヘッド32に接続する同軸ケーブル133とで構成されている。プローブ110は、Fig. 9およびFig. 10に示すように、芯線となる内部導体111と、この内部導体111と同軸に配置される円筒状の外部導体112

と、内部導体 1 1 1 と外部導体 1 1 2 との間に配置される絶縁体 1 1 4 とを有し、被測定物 1 0 0 と接触する端面 1 1 3 が、内部導体 1 1 1 の横断面と平行な平面、換言すれば内部導体 1 1 1 の軸方向と垂直な平面に形成されている。

この物性測定装置 1 0 1 では、プローブ 1 1 0 の平面状端面 1 1 3 を被測定物 1 0 0 に接触させた状態で、信号発生部 2 が発生するステップパルスを被測定物 1 0 0 に入射して当該被測定物 1 0 0 からの反射波を時間経過順に取り込み記録部 4 に記録する。同様に、プローブ 1 1 0 の平面状端面 1 1 3 を標準物質に接触させた状態で、信号発生部 2 が発生するステップパルスを標準物質に入射して標準物質からの反射波を時間経過順に取り込み記録部 4 に記録する。尚、被測定物 1 0 0 からの反射波の測定と標準物質からの反射波の測定とはいずれを先に行っても構わない。そして、信号処理部 5 により、記録部 4 に記録された標準物質からの反射波と被測定物 1 0 0 からの反射波とについて周波数成分に応じて差と和を求め、予め記録された標準物質の周波数成分に応じた複素誘電率を用いて、被測定物 1 0 0 の複素誘電率を求めるようにしている。

しかしながら、このプローブ 1 1 0 では、被測定物 1 0 0 の表面に凹凸があると、端面 1 1 3 を被測定物 1 0 0 に密着させることが難しい。プローブ 1 1 0 の端面 1 1 3 が被測定物 1 0 0 に密着していないと、空隙を含んだ複素誘電率を測定してしまうことになり、被測定物 1 0 0 の複素誘電率を正確に測定することができない。

また、被測定物 1 0 0 が食品である場合、食品表面と食品内部とでは水分の状態が異なることが予想されるため、食品の鮮度等を正確に調べるためには食品内部の含水量を測定することが望ましい。ところが、プローブ 1 1 0 は平坦な端面 1 1 3 を被測定物 1 0 0 の表面に対し平行に接触させるタイプであり、プローブ 1 1 0 を被測定物 1 0 0 に突き刺す際には被測定物 1 0 0 の表面に接触した平面状端面 1 1 3 の全体に押圧力が一様に作用するため、プローブ 1 1 0 を被測定物 1 0 0 に突き刺し難い。このため、プローブ 1 1 0 では被測定物 1 0 0 内部の含水量を測定することが困難である。また、プローブ 1 1 0 を被測定物 1 0 0 に無理に突き刺してしまうと、特に水分を多く含んだ食品などの被測定物 1 0 0 では水分が被測定物 1 0 0 の外に流れ出てしまうし、被測定物 1 0 0 の細胞組織が破

壊されてしまう問題も生じる。

プローブ 110 を被測定物 100 に突き刺し易くするため、プローブ 110 と被測定物 100 との接触面積を小さくするべくプローブ 110 の径を細く形成する事が考えられるが、プローブ 110 の径を細くすると電極の電気長が小さくな  
5 ってしまう。電気長が小さくなると、プローブ 110 の感度が低下してしまう問題がある。

また、複素誘電率は温度の影響を受けるため、複素誘電率の測定の際には被測定物 100 の温度の測定も行なわれる。従来は、複素誘電率の測定と温度の測定  
10 とに、それぞれ専用の別個のプローブを用いている。このため、これら 2 つの物理量の測定を同時に行う場合には、被測定物 100 における測定位置を異なるものとせざるを得ず、測定点のずれ即ち位置的ずれを生じる。一方、被測定物 100 における同一箇所にて、複素誘電率と温度の測定を行なう場合には、一方の測定を他方の測定に先行して行なわざるを得ないために、測定時間のずれ即ち時間  
15 的ずれを生じる。被測定物 100 が加熱される過程や冷却される過程に置かれている場合、例えば被測定物 100 が冷凍された食品であってこの冷凍食品が常温下に移されて測定が行なわれる場合などのように被測定物 100 自体の温度と雰囲気  
20 の温度との差が大きい場合には、被測定物 100 の各部における温度の違いは大きくなり、その温度の時間変化も大きくなる。従って、上記の位置的ずれ又は時間的ずれのいずれかを生じる従来技術では、複素誘電率を測定した箇所における温度または複素誘電率を測定した時間における温度と、実際に測定された温度との間に、ずれが生じてしまう。このため、温度に対する正確な複素誘電率の測定が困難であるという問題がある。

#### 発明の開示

本発明は、被測定物表面の凹凸の有無にかかわらず被測定物の複素誘電率の正  
25 確な測定が可能であり、且つ被測定物内部の物性値の測定が可能であり、更に適切な電気長に設定できる物性測定用プローブを提供することを目的とする。また、本発明は、複素誘電率の測定と同時に、測定個所の近傍の温度を測定できる物性測定用プローブを提供することを目的とする。

かかる目的を達成するため、本発明は、被測定物の複素誘電率を測定して測定

された複素誘電率に基づいて被測定物の含水量等の物性値を測定する物性測定装置に用いられ、芯線となる内部電極と、該内部電極と同軸に配置される外部電極とを有する物性測定用プローブにおいて、内部電極の軸方向に対して斜めに端面を形成するようにしている。

- 5       したがって、プローブの端面は、円柱を斜めに切った断面に相当し、楕円状となる。この楕円の短軸の長さはプローブの外径と同じであり、当該楕円の長軸の長さは内部電極の軸方向に対する端面の角度により定まりプローブの外径以上となる。したがって、楕円状端面の面積は、プローブの横断面の面積よりも大きくなる。ここで、電極の電気長は、プローブの端面の面積が大きくなるに従って大  
10       きくなる。したがって、本発明によれば、プローブ全体の径を太くすることなく電気長を大きくすることが可能となる。換言すれば、適切な電気長に設定して尚且つプローブ全体の径を細くすることが可能となる。さらに、内部電極の軸方向に対する端面の角度を調整することで、楕円状端面における長軸の長さを調整することができるので、被測定物の種類等に応じて適切な感度を実現する電気長に  
15       調整することが可能となる。

- さらに本発明によれば、端面を内部電極の軸方向に対して斜めとすることによりプローブの先端が鋭利となり、プローブを被測定物に突き刺す際には被測定物の表面に最初に接触するプローブの尖った先端に押圧力が集中して作用するため、被測定物にプローブを突き刺し易くなる。被測定物にプローブを突き刺すことで、  
20       被測定物表面の形状即ち凹凸の有無にかかわらず、プローブの端面が被測定物に密着するため、被測定物の複素誘電率を正確に測定することが可能となる。加えて、プローブの先端が鋭利であり且つプローブの径を細くできるため、プローブを突き刺すことによる被測定物の損傷を抑えることができる。この本発明に係るプローブは、例えば既存のセミリジッドケーブルの先端部分を斜めに切断すること  
25       とで極めて容易に製造できる。

また、本発明の物性測定用プローブは、物性測定装置に設けられた柔軟性を有するプローブ取付用ケーブルに対し、連結手段を用いて着脱自在に取り付けられることが好ましい。この場合、柔軟性を有するケーブルが変形するので、プローブの操作に対する自由度が向上する。また、プローブをこのケーブルに対して着

脱自在に構成することで、必要に応じてプローブを容易に交換することができる。例えば、必要に応じて電気長の異なるプローブに交換する、必要に応じて被測定物の表面に接触するタイプのプローブに交換する、といったことが可能となる。

また、プローブの連結手段への取り付けにはねじ構造を用いることが好ましい。

- 5 この場合、安価にプローブをケーブルに対して着脱自在に構成でき、またケーブルに捻り変形を与えること無くプローブだけをねじ方向に回転又は逆転させてプローブ端面の向きを調整することも可能になる。

- また、プローブの端面の近傍に温度センサを配置することが好ましい。この場合、プローブを被測定物に刺し込んで複素誘電率を測定すると同時に、当該測定  
10 個所の近傍の温度を測定することが可能となる。これにより、被測定物が加熱や冷却の過程にある場合であっても、温度に対する正確な複素誘電率を測定することができる。

#### 図面の簡単な説明

- Fig. 1 は本発明の物性測定用プローブの実施の一形態を示す中央断面図である。
- 15 Fig. 2 はプローブの端面と垂直な方向であるFig. 1 中の矢示Aから見たプローブの端面を示す図である。Fig. 3 は物性測定装置の構成の一例を示すブロック図である。Fig. 4 は本発明の物性測定用プローブを用いてTDR式物性測定装置およびインピーダンスアナライザにより被測定物としてのりんごの複素誘電率を測定した結果を示すグラフであり、横軸は周波数の対数  $\log f \text{ Hz}$  を、縦軸は複
- 20 素誘電率の実部  $\epsilon'$  と虚部  $\epsilon''$  をそれぞれ示す。Fig. 5 は本発明の物性測定用プローブを用いてTDR式物性測定装置およびインピーダンスアナライザにより被測定物としてのじゃがいもの複素誘電率を測定した結果を示すグラフであり、横軸は周波数の対数  $\log f \text{ Hz}$  を、縦軸は複素誘電率の実部  $\epsilon'$  と虚部  $\epsilon''$  をそれぞれ示す。Fig. 6 は本発明の物性測定用プローブを用いてTDR式物性測定
- 25 装置およびインピーダンスアナライザにより被測定物としての牛肉の複素誘電率を測定した結果を示すグラフであり、横軸は周波数の対数  $\log f \text{ Hz}$  を、縦軸は複素誘電率の実部  $\epsilon'$  と虚部  $\epsilon''$  をそれぞれ示す。Fig. 7 は本発明の物性測定用プローブの他の実施の一形態を示す中央断面図である。Fig. 8 は従来ある物性測定装置の構成の一例を示すブロック図である。Fig. 9 は従来の物性測定用プ

ローブを示す中央断面図である。Fig. 10は従来の物性測定用プローブを示す正面図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の構成を図面に示す最良の形態に基づいて詳細に説明する。

- 5 Fig. 1～Fig. 3に本発明の物性測定用プローブの実施の一形態を示す。この物性測定用プローブ31は、被測定物100の複素誘電率を測定して当該測定された複素誘電率に基づいて被測定物100の含水量等の物性値を測定する物性測定装置1に用いられるものである。

- 物性測定装置1は、例えばTDR法を採用した装置である。この物性測定装置  
10 1は、Fig. 3に示すように、被測定物100及び複素誘電率が既知の図示していない標準物質とにそれぞれ与える励起信号としてのステップパルスを発生する信号発生部2と、信号発生部2からの励起信号を被測定物100と標準物質とにそれぞれ入射し、被測定物100及び標準物質からのそれぞれの反射波を検出する  
15 検出部3と、検出部3を介して検出した被測定物100及び標準物質からのそれぞれの反射波を時間経過順に取り込み記録する記録部4と、記録部4に記録された標準物質からの反射波と被測定物100からの反射波とについて周波数成分に応じた差と和とを求め、予め記録された標準物質の周波数成分に応じた複素誘電率を用いて被測定物100の複素誘電率を求める信号処理部5とを備えるものである。この物性測定装置1の基本的な構成はFig. 8に示した既存の装置101と  
20 同じであり、この既存装置101と同一の構成要素については同一符号を付してその詳細な説明を省略する。

- 物性測定用プローブ31は、芯線となる内部電極311と、この内部電極311と同軸に配置される外部電極312とを有して構成され、内部電極311の軸方向に対して斜めに端面313が形成されている。内部電極311および外部電  
25 極312には、例えば代表的な導電性材料である銅を用いている。内部電極311と外部電極312との間には、絶縁体314が配置されている。絶縁体314の材料には例えばポリテトラフルオロエチレンを用いている。このプローブ31は、例えば既存のセミリジッドケーブルの先端部分を斜めに切断することで容易に得ることができる。尚、内部電極311および外部電極312の腐食防止のため



めに、端面 3 1 3 の金属部分および被測定物 1 0 0 に挿入される外部電極 3 1 2 の周面には金メッキまたは白金メッキを施すことが好ましい。

Fig. 2 に示す外部電極 3 1 2 の外径  $d_1$  および内径  $d_2$ 、内部電極 3 1 1 の直径  $d_3$ 、内部電極 3 1 1 の軸方向に対する端面 3 1 3 の角度  $\theta$  は、プローブ 3 1 が細く且つ鋭利となるように、且つ電気長  $\gamma d$  が適切なものとなるように設定される。

電気長  $\gamma d$  と、端面 3 1 3 の面積との間には相関関係がある。即ち、電気長  $\gamma d$  は、端面 3 1 3 の面積が大きくなるに従って大きくなり、当該面積が小さくなるに従って小さくなる。プローブ 3 1 の端面 3 1 3 は、円柱を斜めに切った断面に相当し、Fig. 2 に示すように楕円形状となる。当該楕円の短軸の長さは、プローブ 3 1 の径と同じであり、本実施形態においては外部電極 3 1 2 の外径  $d_1$  の長さと同じである。当該楕円の長軸  $d_1'$  の長さは、内部電極 3 1 1 の軸方向に対する端面 3 1 3 の角度  $\theta$  により定まり、 $d_1' = d_1 / \sin \theta$  で表され、プローブ 3 1 の径  $d_1$  の長さ以上となる。従って、当該楕円状の端面 3 1 3 の面積は、プローブ 3 1 の横断面の面積よりも大きく、且つ楕円の長軸  $d_1'$  が長くなるほど大きくなる。従って、内部電極 3 1 1 の軸方向に対する端面 3 1 3 の角度  $\theta$  を調整することで、楕円状端面 3 1 3 における長軸  $d_1'$  の長さを調整し、これにより端面 3 1 3 の面積を調整し、この結果、被測定物 1 0 0 に適した電気長  $\gamma d$  に調整することが可能となる。電気長  $\gamma d$  を大きくすることでプローブ 3 1 の感度が上がるため、被測定物 1 0 0 の種類等に応じた適切な電気長  $\gamma d$  を選択することで、精度の良い測定が可能となる。

また、本実施形態のプローブ 3 1 は、物性測定装置 1 に設けられたプローブ取付用ケーブルとしての同軸ケーブル 3 3 に、電氣的に接続される。これによりプローブ 3 1 が信号発生部 2 と記録部 4 とに電氣的に接続される。この同軸ケーブル 3 3 には柔軟性を有するものを採用する事が好ましい。この場合、プローブ 3 1 の移動に従って同軸ケーブル 3 3 が変形して、プローブ 3 1 の向きや位置を自在に調整できる。この同軸ケーブル 3 3 は、芯線となる内部導体 3 3 1 と、この内部導体 3 3 1 を囲う絶縁体 3 3 2 と、この絶縁体 3 3 2 を更に囲う外部導体 3 3 3 と、この外部導体 3 3 3 を更に被覆する絶縁体 3 3 4 とを有する。プローブ

3 1 の内部電極 3 1 1 は同軸ケーブル 3 3 の内部導体 3 3 1 に、プローブ 3 1 の外部電極 3 1 2 は同軸ケーブル 3 3 の外部導体 3 3 3 に、それぞれ電氣的に接続される。尚、同軸ケーブル 3 3 におけるプローブ 3 1 に接続する端部と逆側の端部には、信号発生部 2 および記録部 4 とのインタフェースとなるサンプリングヘッド 3 2 が接続される。

プローブ 3 1 と同軸ケーブル 3 3 とは、例えば連結手段 6 によって接続される。本実施形態の連結手段 6 は、プローブ 3 1 と同軸ケーブル 3 3 とを機械的に接続するねじ構造を有し、具体的にはプローブ 3 1 と同軸ケーブル 3 3 とを直線状に連結するナットとして形成されている。一方、連結手段 6 に捻じ込まれるプローブ 3 1 と同軸ケーブル 3 3 の端部には、連結手段 6 の雌ねじと噛み合う雄ねじが設けられている。連結手段 6 にねじ構造を採用することにより、プローブ 3 1 または同軸ケーブル 3 3 を、必要に応じて連結手段 6 から取り外すことができる。これにより、プローブ 3 1 は同軸ケーブル 3 3 と着脱自在に構成される。また、連結手段 6 にねじ構造を採用することにより、同軸ケーブル 3 3 に捻り変形を与えること無くプローブ 3 1 だけをねじ方向に回転又は逆転させて端面 3 1 3 の向きを所望のものに調整できる利点もある。

尚、上記の例では、連結手段 6 を同軸ケーブル 3 3 にねじ構造により取り付けたが、連結手段 6 を同軸ケーブル 3 3 に離脱不能に取り付けても良い。この場合、連結手段 6 を圧入や接着又ははんだ付け等で同軸ケーブル 3 3 に固定しても良いが、同軸ケーブル 3 3 の軸回りに回転可能に連結手段 6 を同軸ケーブル 3 3 に取り付けても良い。例えば同軸ケーブル 3 3 の周縁に溝を設けると共に、連結手段 6 の同軸ケーブル 3 3 が嵌め込まれる孔の内周縁に環状の突起を設けて、連結手段 6 の環状突起を同軸ケーブル 3 3 の周縁の溝に嵌め込むことにより、同軸ケーブル 3 3 の軸回りに回転可能に連結手段 6 を同軸ケーブル 3 3 に取り付ける。この場合、同軸ケーブル 3 3 に捻り変形を与えること無く且つプローブ 3 1 をねじ方向に回転させること無く、連結手段 6 だけを回転させてプローブ 3 1 を同軸ケーブル 3 3 に取り付けることができる。また、連結手段 6 が同軸ケーブル 3 3 の軸回りに回転するので、同軸ケーブル 3 3 に捻り変形を与えること無く端面 3 1 3 の向きを適宜所望のものに調整できる。但し、連結手段 6 は、ねじ構造を利用

したものに限定されず、プローブ 3 1 と同軸ケーブル 3 3 とを電氣的に接続すると共に、プローブ 3 1 を同軸ケーブル 3 3 に対して着脱自在に構成できるあらゆる手段を必要に応じて適用して良い。

- 被測定物 1 0 0 を食品として、当該食品に含まれる水分量を物性測定装置 1 により測定する場合には、次のように行う。即ち、プローブ 3 1 を被測定物 1 0 0 としての食品に突き刺す。食品表面の凹凸の有無にかかわらず、プローブ 3 1 の端面 3 1 3 が食品に密着するため、食品の複素誘電率を正確に測定することが可能となる。また、プローブ 3 1 の先端が鋭利であり且つ径を細くできるため、被測定物 1 0 0 としての食品の損傷を抑えることができる。測定された食品の複素誘電率に基づいて、当該食品に含まれる水分量を求めることができる。

#### <実施例>

次に、本発明の効果を確認するための実験及びその結果を実施例として説明する。ただし、以下の実施例は本発明を何ら限定するものではない。

- 本実験では、被測定物としてりんご、じゃがいも、牛肉について、プローブ 3 1 を備えた TDR 式物性測定装置と、プローブ 3 1 を備えたインピーダンスアナライザとを用いて、室温での複素誘電率の測定を行った。測定時の被測定物の温度は室温と同じとした。室温は 2 6 °C ~ 2 7 °C 程度であった。また、本実験での電気長  $\gamma d$  は 0 . 3 1 5 mm であった。複素誘電率の測定は、各被測定物にプローブ 3 1 を突き刺して行った。TDR 式物性測定装置による測定条件は、周波数範囲を 1 0 0 MHz ~ 1 0 GHz とし、標準物質として空気を用いた。インピーダンスアナライザによる測定条件は、周波数範囲を 1 MHz ~ 1 . 8 GHz とした。Fig. 4 にりんごについての測定結果を、Fig. 5 にじゃがいもについての測定結果を、Fig. 6 に牛肉についての測定結果をそれぞれ示す。Fig. 4 から Fig. 6 において、横軸は周波数の対数  $\log f$  Hz を、縦軸は複素誘電率の実部  $\epsilon'$  と虚部  $\epsilon''$  をそれぞれ示す。

りんご、じゃがいも、牛肉で観測された緩和曲線は 2 ~ 3 つの緩和過程を仮定することによって記述された。それぞれの被測定物で高周波側に水の回転拡散運動による緩和過程が 1 つ観測された。

また、低周波側にも主に電極分極と考えられる緩和過程が 1 つ観測された。さ

らに複素誘電率の虚部には直流電気伝導成分による誘電損失が見られた。牛肉に関しては、高周波側の水の緩和と低周波側の電極分極による緩和だけでは複素誘電率の実部を記述することはできず、これらの緩和の中間周波数領域に D e b y e 型の緩和過程を 1 つ仮定した。高周波側の緩和過程を h、低周波側の緩和過程を l、中間周波数領域の緩和過程を m とする。

これらの緩和過程と導電率によって、複素誘電率は、下記に示す数式 (1) により記述された。

$$\varepsilon^* = \frac{\sigma}{j \omega \varepsilon_0} + \sum_{i=1}^{2 \sim 3} \frac{\Delta \varepsilon_i}{1 + (j \omega \tau_i)^{\beta_i}} + \varepsilon_{\infty} \quad \dots (1)$$

但し、

$\varepsilon^*$  ; 複素誘電率 (但し、 $\varepsilon^* = \varepsilon' - j \varepsilon''$ )

$\sigma$  ; 導電率

$\varepsilon_0$  ; 低周波側の誘電率

$\varepsilon_{\infty}$  ; 高周波側の誘電率

$\Delta \varepsilon_i$  ; 緩和強度

$\omega$  ; 角振動数

$\tau_i$  ; 緩和時間

$\beta_i$  ; 緩和曲線の広がりを表すパラメータ ( $\beta_i = 1$  ; D e b y e 型)

上記の緩和過程について、数式 1 によりカーブフィットを行って得られた緩和パラメータを表 1 に示す。但し、本実験では、高周波側の誘電率  $\varepsilon_{\infty}$  は 5.0 に固定した。

表 1

被測定物	$\tau_h$ [sec]	$\Delta \varepsilon_h$	$\beta_h$	$\tau_l$ [sec]	$\Delta \varepsilon_l$	$\beta_l$	$\sigma$ [ $S \cdot m^{-1}$ ]	$\tau_m$ [sec]	$\Delta \varepsilon_m$	$\beta_m$
りんご	1.08E-11	5.63E+01	0.90	2.38E-07	5.81E+02	0.91	1.25E-01	-	-	-
じゃがいも	1.08E-11	5.63E+01	0.90	2.38E-07	8.43E+03	0.91	1.25E-01	-	-	-
牛肉	1.15E-11	5.47E+01	0.81	2.73E-07	5.81E+02	0.72	5.88E-01	2.88E-09	1.72E+01	1.00

以上の実験結果より、本発明のプロープ 31 を既存の TDR 式物性測定装置およびインピーダンスアナライザに用い、プロープ 31 を固体試料に突き刺して、

当該固体試料の複素誘電率を測定することが可能であることが確認された。

さらに本発明に係る突き刺し型のプローブを用いて、被測定物について、複素誘電率のみならず他の物性値を同時に測定するように構成しても良い。この場合、本発明に係る突き刺し型のプローブが、複素誘電率以外の物性値の検出部を兼ね備えるように構成する。または、本発明に係る突き刺し型のプローブに、複素誘電率以外の物性値の検出部を付加するように構成する。

例えばFig. 7に示すように、端面313の近傍に温度センサ72を配置するようにする。温度センサは、例えば熱電対72である。但し、温度センサは、熱電対に限定されるものではなく、例えば測温抵抗体である白金抵抗線やサーミスタなどを使用した周知の温度センサであっても良い。温度センサとして熱電対72を採用する場合、熱電対72の測定接点74をプローブ31の端面313の近傍に配置するように構成する。熱電対72のプローブ31への取り付け方法としては、例えば外部電極312の外周に熱電対72を接着剤等で貼り付けても良い。若しくは、外部電極312の長手方向に絶縁体314に達しない程度の深さの溝75を設けて、当該溝75に熱電対72を嵌め込むと共に接着剤などで固着しても良い。後者の場合、前者と比較して、熱電対72が外部電極312から出っ張らないために、プローブ31を被測定物に突き刺す際に、熱電対72がプローブ31から外れてしまい難いという利点がある。ここで、プローブ31の端面313と熱電対72との位置関係は、例えばプローブ31と熱電対72とが互いに検出信号を乱すことの無いように、即ち一方が他方の外乱とならないように、設定することが好ましい。このために、例えば熱電対72の測定接点74を、Fig. 7中のLで示すように、プローブ31の先端から若干装置本体側に引き込んだ位置に配置することが好ましい。尚、複素誘電率の測定手段には、例えばTDR法を採用した周知の装置を用いて良い。熱電対72は、両端を接合した2種の異なった導体からなる周知のものである。熱電対72は、図示しない温度測定手段に接続されており、この温度測定手段は、ゼーベック効果による熱起電力を利用して、熱電対72の二つの接点の間で発生する熱電圧を測定することにより、測定接点74の温度を測定する周知の装置である。以上の構成によって、プローブ31を被測定物に刺し込むことで、当該被測定物の複素誘電率を測定すると同時に、当

該測定個所の近傍の温度を測定することが可能となる。これにより、被測定物が加熱や冷却の過程などにある場合であっても、温度に対する正確な複素誘電率を測定することができる。

さらに、プローブの端面を斜めとなるように形成することで、端面の面積を調整し、所望の電気長を得ることができるが、場合によっては、プローブの横断面の形状によって所望の電気長を得るようにしてもよい。例えば、プローブの端面をプローブの横断面と平行な平面とし、且つプローブの横断面の形状を楕円形状として、所望の電気長を得るようにしても良い。

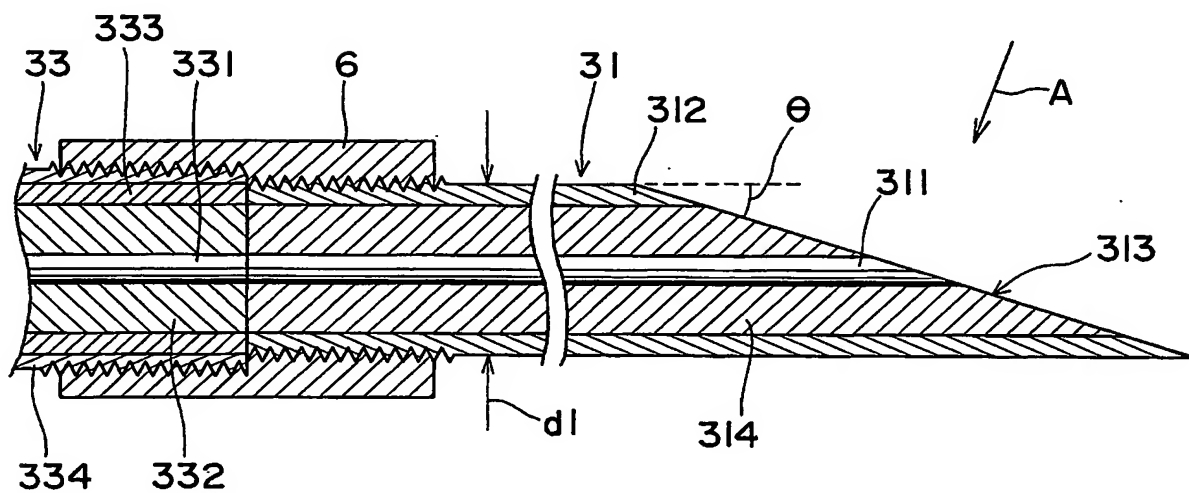
なお、上述の実施形態は本発明の好適な実施の一例ではあるがこれに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。例えば、本発明のプローブを用いた物性測定装置の測定対象としては食品のみならず、例えば含水量を調べる必要性がある含水物質全般を対象として良い。また、本発明のプローブを用いる物性測定装置は、TDR法を採用した装置には限られない。被測定物の複素誘電率を測定する方法としては、TDR法の他に、例えば周波数領域測定法などが知られており、これらの測定方法を採用した物性測定装置にも本発明のプローブを適用することが可能である。

## 請 求 の 範 囲

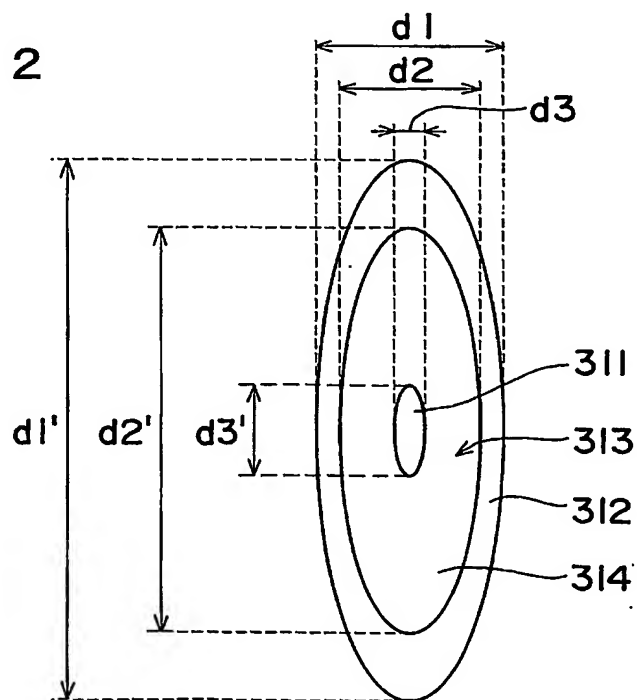
1. 被測定物の複素誘電率を測定して当該測定された複素誘電率に基づいて前記被測定物の含水量等の物性値を測定する物性測定装置に用いられ、芯線となる内部電極と、該内部電極と同軸に配置される外部電極とを有する物性測定用プローブにおいて、前記内部電極の軸方向に対して斜めに端面を形成したことを特徴とする物性測定用プローブ。
2. 前記物性測定装置に設けられた柔軟性を有するプローブ取付用ケーブルに対し、連結手段を用いて着脱自在に取り付けられることを特徴とする請求の範囲第1記載の物性測定用プローブ。
3. 前記連結手段に対しねじ構造により取り付けられることを特徴とする請求の範囲第2記載の物性測定用プローブ。
4. 前記端面の近傍に温度センサを配置したことを特徴とする請求の範囲第1記載の物性測定用プローブ。

1/7

F i g . 1



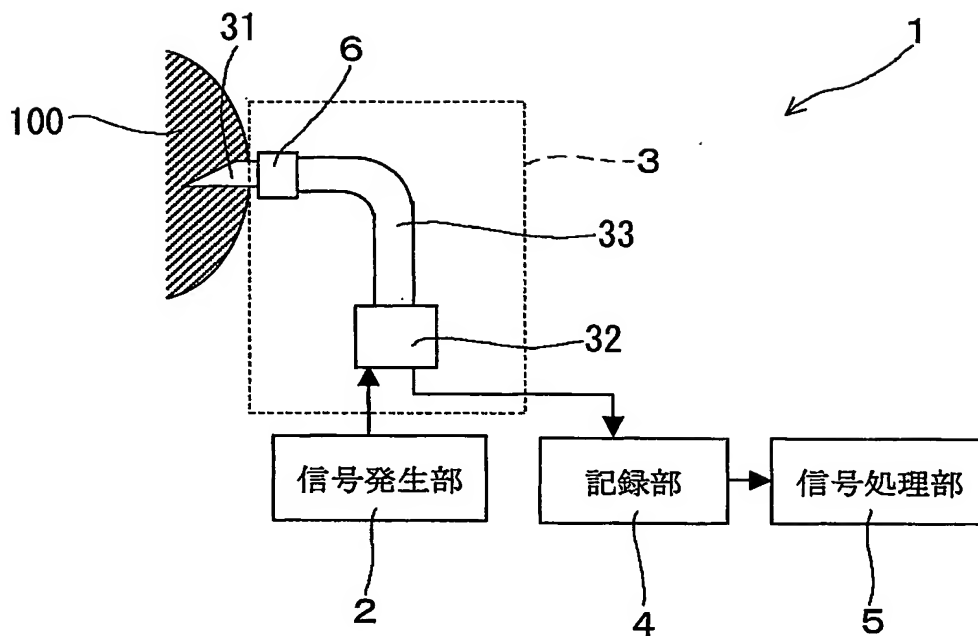
F i g . 2





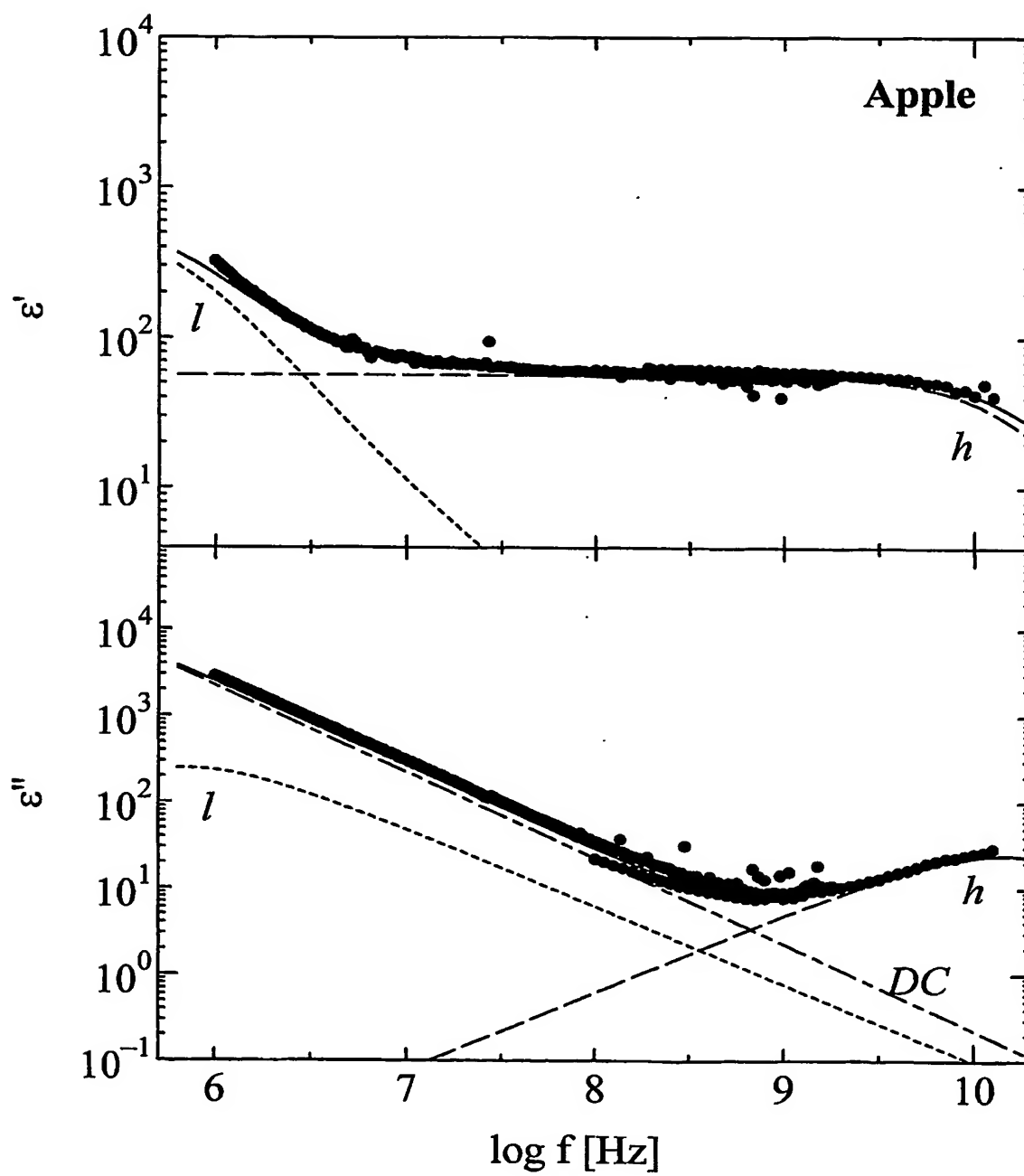
2/7

F i g . 3



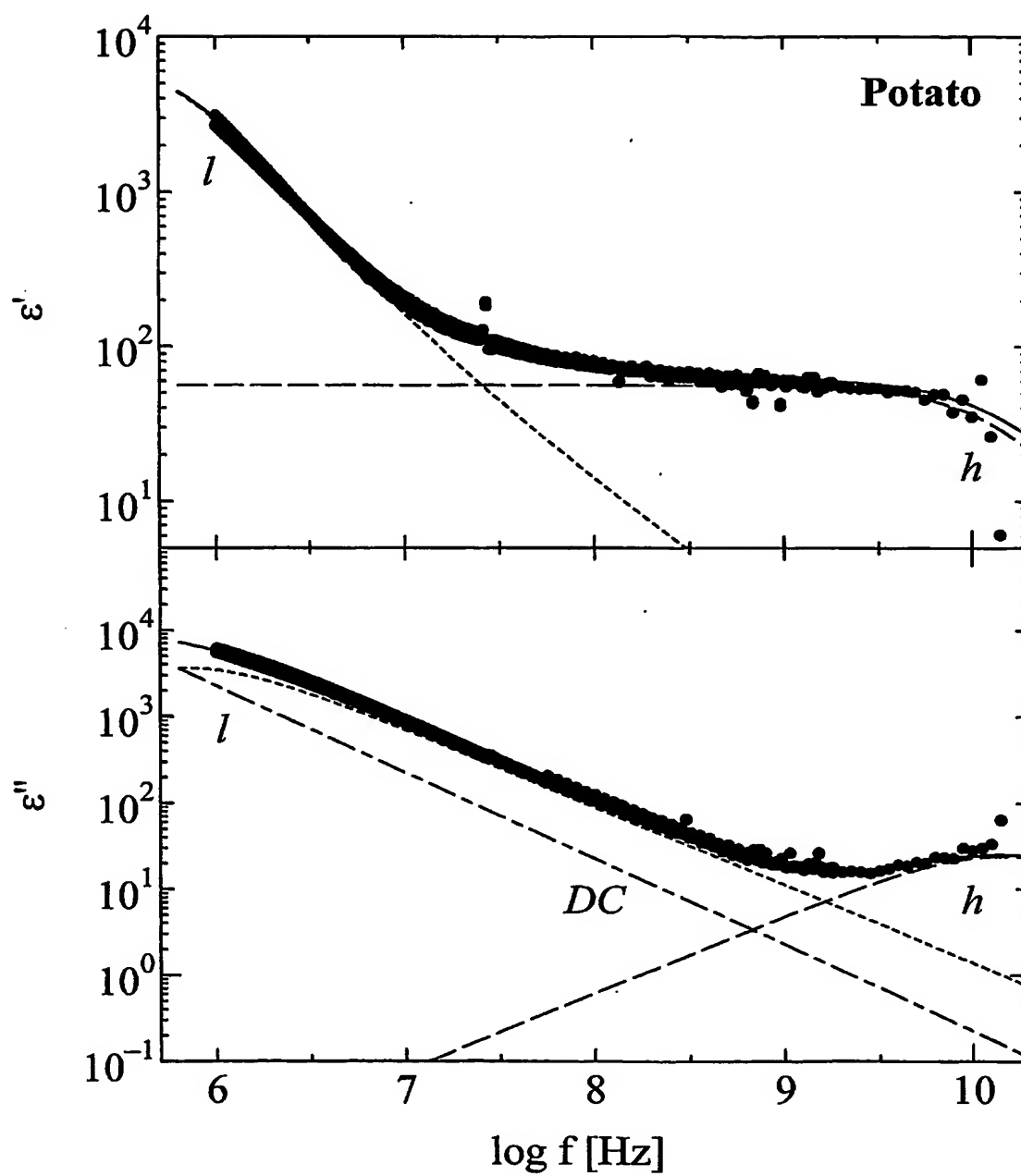
3/7

F i g . 4



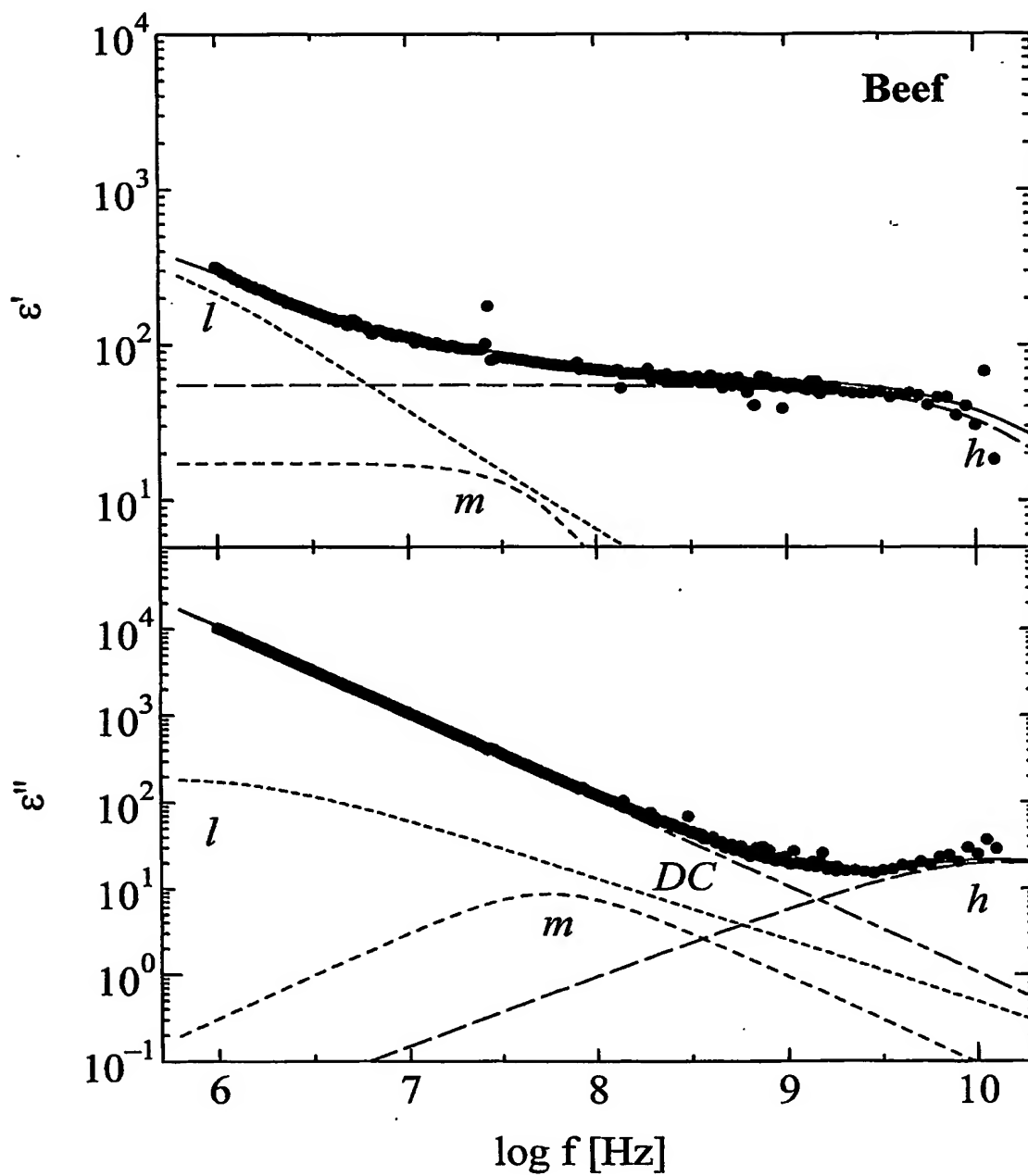
4/7

F i g . 5



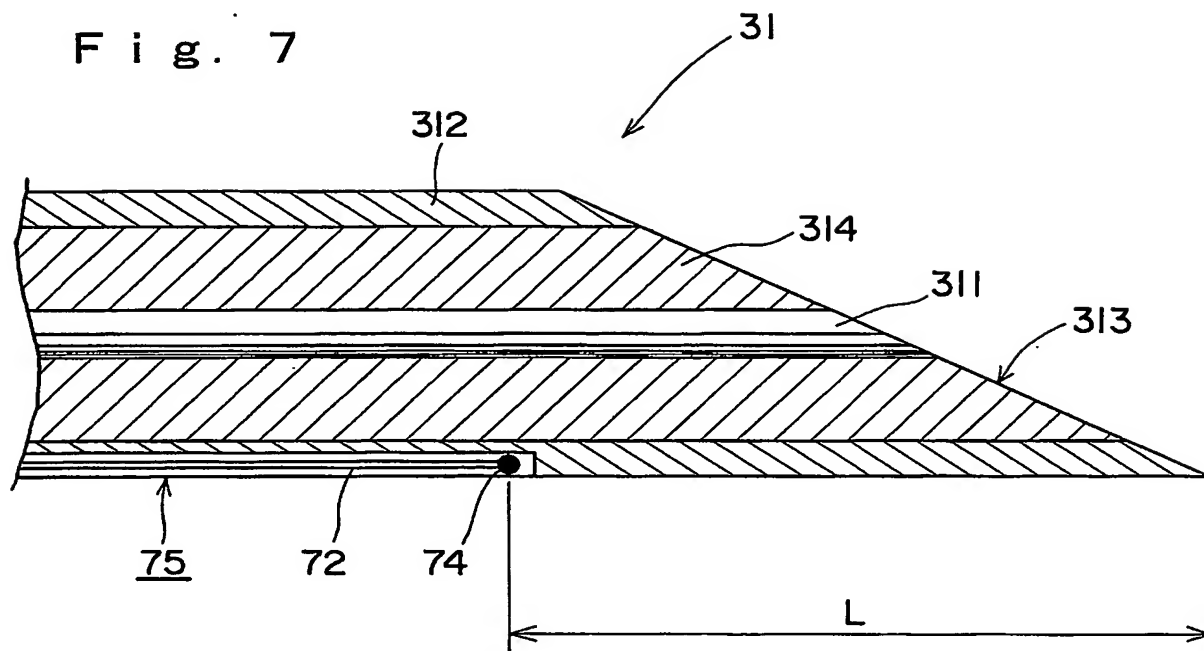
5/7

F i g . 6

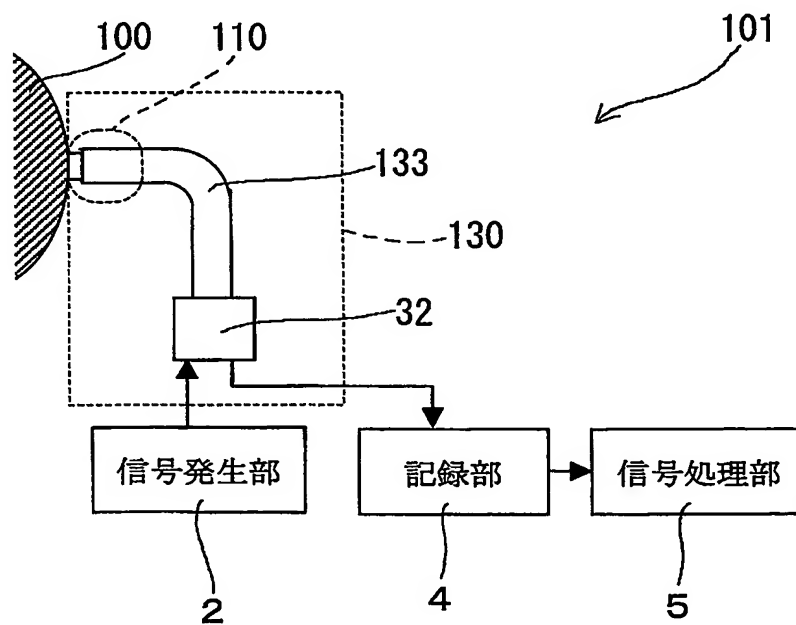


6/7

F i g . 7



F i g . 8



7/7

Fig. 9

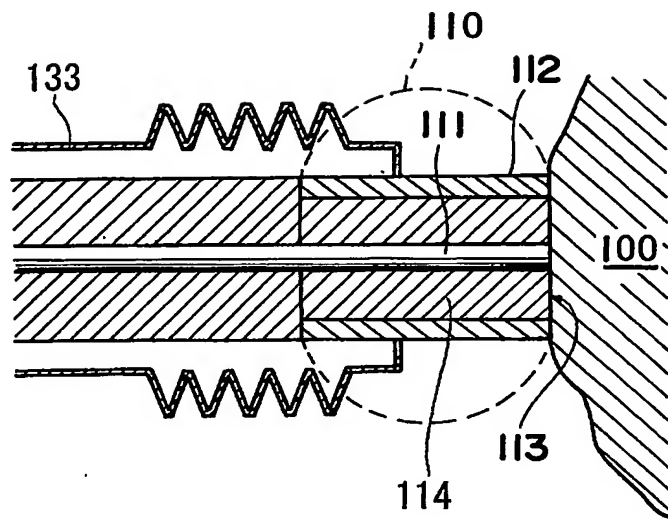


Fig. 10

